

RANCANG BANGUN PENGENDALIAN VIBRASI PADA *SINGLE LINK FLEXIBLE JOINT MANIPULATOR ROBOT* BERBASIS PID CONTROLLER

Yosin Alfa Syahroni Lutfianam

Progam Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : yosinlutfianam@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syariffudien Zuhrie S.Pd., M.T

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : zuhrie.syarif@gmail.com

Abstrak

Fleksibilitas adalah fitur yang tidak diinginkan pada robot manipulator karena menyebabkan getaran/vibrasi dan defleksi statis. Vibrasi atau getaran adalah gerakan bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu. Dampak dari adanya vibrasi yaitu menurunkan akurasi titik akhir. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang serta membuat *software* dan *hardware* pada *single link flexible joint manipulator* dan mencari nilai kontroler PID (*Proporsional-Integral-Deivatif*) dari hasil *respon plant*, sehingga dapat melakukan analisis hasil pengujian sistem dengan dan tanpa kontroler. Penelitian ini menggunakan *software Arduino* dan *Matlab 2014a* yang digunakan untuk merancang *software* dan menganalisis hasil *respon plant*. *Hardware* dari robot menggunakan *Arduino UNO* sebagai mikrokontroler, *MPU6050* sebagai sensor vibrasi, *rotary encoder* sebagai sensor posisi, motor DC sebagai *actuator*, dan power supply digunakan untuk menyediakan tegangan listrik ke semua rangkaian.

Hasil nilai vibrasi pada *respon sistem plant* dengan *setpoint* 90 derajat tanpa kontroler PID sebesar 49 m/s^2 ke kanan dan 35 m/s^2 ke kiri, sedangkan dengan menggunakan kontroler PID sebesar 9 m/s^2 ke kanan dan 9 m/s^2 ke kiri. *Setpoint* 180 derajat tanpa kontroler PID sebesar 40 m/s^2 ke kanan dan 35 m/s^2 ke kiri, sedangkan dengan menggunakan kontroler PID sebesar 10 m/s^2 ke kanan dan 9 m/s^2 ke kiri. *Setpoint* 270 derajat tanpa kontroler PID sebesar 44 m/s^2 ke kanan dan 44 m/s^2 ke kiri sedangkan dengan menggunakan kontroler PID sebesar 12 m/s^2 ke kanan dan 8 m/s^2 ke kiri. Sehingga pada penelitian ini sistem lebih baik menggunakan kontroler PID dari pada tidak menggunakan kontroler PID, karena dengan menggunakan kontroler PID vibrasi yang disebabkan oleh lengan robot lebih kecil dari pada tidak menggunakan kontroler PID.

Kata kunci : *Single Link Flexible Joint Manipulator, PID Controller, Matlab 2014a*

Abstract

Flexibility is an undesirable feature of the robot manipulator because it causes vibration and static deflection. Vibration is an alternating motion within a given time interval. The impact of the vibration is to decrease the accuracy of the end point. The purpose of this research is to design and make software and hardware on single link flexible joint manipulator and find the value of controller PID (Proporsional-Integral-Deivative) from result of plant response, so that can do analysis of test result system with and without controller. The PID controller values K_p , K_i , and K_d are known to be applied to the robot hardware by inserting them into the Arduino IDE sketch.

The result of the vibration value in the system response of the plant with the setpoint 90 degrees without the PID controller of 49 m/s^2 to the right and 35 m/s^2 to the left, while using the PID controller of 9 m/s^2 to the right and 9 m/s^2 to the left. Setpoint 180 degrees without PID controller of 40 m/s^2 to the right and 35 m/s^2 to the left, while using PID controller of 10 m/s^2 to the right and 9 m/s^2 to the left. Setpoint 270 degrees without a PID controller of 44 m/s^2 to the right and 44 m/s^2 to the left while using the PID controller of 12 m/s^2 to the right and 8 m/s^2 to the left. So in this research the system is better to use PID controller instead of using PID controller, because by using PID controller the vibration caused by robot arm is smaller than not using PID controller.

Keywords: *Single Link Flexible Joint Manipulator, PID Controller, Matlab 2014a*

PENDAHULUAN

Pada zaman digital ini, perkembangan teknologi dunia sangat pesat dengan dibuktikan banyak sekali teknologi baru dan terbaru ditemukan. Perkembangan teknologi ini didukung dengan semakin matangnya sumber daya manusia. Salah satu perkembangan teknologi terkemuka adalah robot modern. Robot modern perannya sangat penting dan membantu pabrik atau industri untuk menjalankan sistem agar bekerja lebih praktis, mudah, murah, dan efisien.

Menurut (Ismail dkk, 2012) Dalam sistem robot modern, fleksibilitas adalah fitur yang tidak diinginkan

pada robot manipulator karena menyebabkan getaran/vibrasi dan defleksi statis. Vibrasi atau getaran adalah gerakan bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Vibrasi ini muncul salah satunya disebabkan oleh efek eksternal. Dampak dari adanya vibrasi yaitu menurunkan akurasi titik akhir, skema desain kontroler rumit, dan waktu penyelesaian lebih lama dan meningkat.

Menurut (Rafiuddin, 2015) Robot manipulator adalah sistem mekanik yang menunjukkan pergerakan dari robot. Sistem mekanik terdiri dari susunan *link* (rangka) dan *joint*

(sendi) yang mampu menghasilkan gerakan yang terkontrol. Tujuan dirancangnya robot manipulator dengan link fleksibel adalah meningkatkan kapasitas muatan bahan, mengurangi konsumsi energi, konstruksi yang lebih murah, gerakan lebih cepat stabil, dan operasi yang lebih aman.

Adanya permasalahan vibrasi pada *single link flexible joint manipulator* diatas, mendorong penelitian dan pengembangan mengenai sistem ini salah satunya menggunakan kontroler PID. Dengan harapan sistem berjalan dengan baik, efektif, dan dapat mengurangi tingkat kesalahan yang disebabkan oleh sistem. Sehingga posisi dan vibrasi pada *single link flexible joint manipulator* dikendalikan menggunakan metode kontroler PID. Permasalahan dan pengendalian ini diangkat dan dikembangkan untuk sebuah penelitian.

METODE

Pendekatan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini disajikan secara sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak perancangan hingga pembuatan desain penelitian. Menurut (Kurniasih, 2015) pendekatan kuantitatif adalah penelitian yang banyak menggunakan angka dalam hal pengumpulan data, penafsiran terhadap data, dan penampilan dari hasil penelitian. Demikian pula pada tahap kesimpulan akan disertai dengan gambar, tabel, grafik, atau tampilan lainnya.

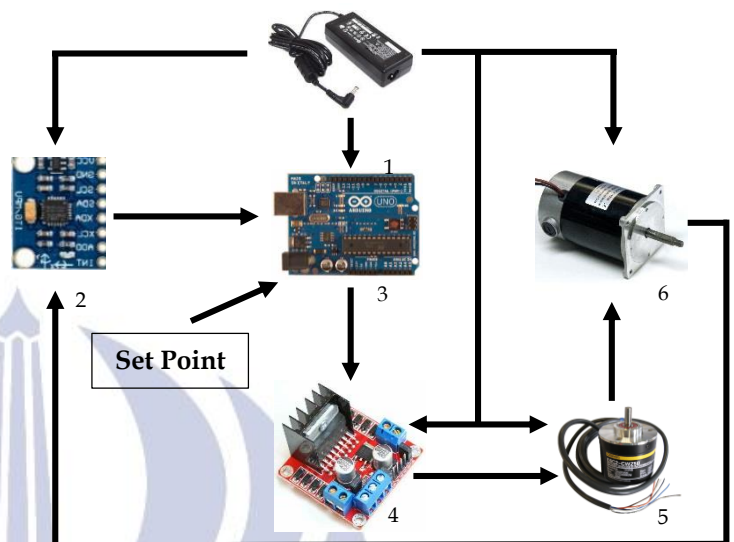
Sedangkan menurut (Arikunto, 2006 : 12) yang menyampaikan bahwa penelitian kuantitatif adalah pendekatan yang banyak dituntut menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penampilan hasilnya. Tahapan perancangan penelitian ini secara garis besar di jelaskan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Perancangan Penelitian
(Sumber : Data Primer, 2018)

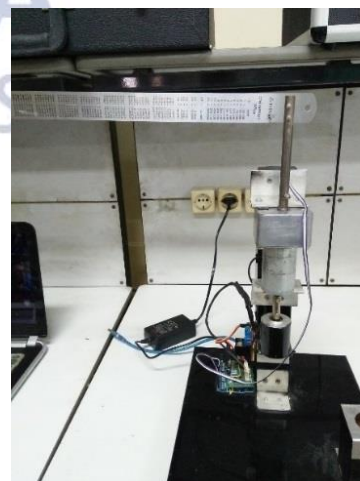
Pembuatan dan Perancangan Alat

Dalam pembuatan dan perancangan alat membutuhkan tahapan yang meliputi pembuatan *hardware* dan *software*, berikut adalah pembuatan *hardware* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Fungsional Alat
(Sumber : Data Primer, 2018)

Pada Gambar 2 blok *hardware* terdiri dari catudaya, MPU 6050, *arduino uno*, motor driver, rotary encoder, dan motor *dc* sebagai aktuator. Power supply digunakan untuk menyediakan tegangan listrik ke semua rangkaian dengan sumber listrik sebesar 220 VAC, 5 VDC dan 12 VDC. MPU 6050 digunakan sebagai sensor vibrasi yang akan menerima pembacaan data lengan robot. Hasil pembacaan sensor akan dikirim ke mikrokontroler *arduino*. *arduino uno* sebagai peranti akusisi data perantara antara komputer dan aktuator pada proses pengendali dengan tujuan membaca nilai *input* dan *output* pada *signal digital* atau *signal analog*. Rotary encoder dan motor *dc* digunakan untuk menggerakkan lengan robot sesuai dengan posisi yang diinginkan.



Gambar 3 Desain Hardware Single Link Flexible Joint Manipulator Robot
(Sumber: Data Primer, 2018)

Pada Gambar 3 Rancang *hardware* pada *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot* menggunakan penggaris dengan ukuran 30 cm sebagai lengan robot. Sedangkan untuk mengukur besaran nilai vibrasi yang terjadi akibat energi kinetik dengan menggunakan sensor *MPU 6050*. Sensor *MPU 6050* dihubungkan dengan menggunakan kabel *jumper* ke *analog input arduino uno* dengan keterangan sebagai berikut.

Tabel 1 Wiring Mpu 6050 dengan Arduino Uno (sumber: Data Primer, 2018)

No	MPU 6050	Arduino Uno
1	Vcc	3,3 V
2	GND	GND
3	SCL	Analog In A5
4	SDA	Analog In A4

Komponen *arduino uno* sebagai mikrokontroler yang digunakan dihubungkan ke semua komponen seperti gambar 4.2 bahwa *arduino* dihubungkan ke *motor driver*, hasil pengolahan sinyal data dari *motor driver* kemudian di kirim ke motor dc untuk mengatur gerak putaran motor dc. *Wiring arduino* dengan *motor driver* dan *rotary encoder* dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3 dibawah.

Tabel 2 Wiring Arduino Uno dengan Motor Driver (Sumber: Data Primer, 2018)

No	Motor Driver	Arduino Uno
1	INA	Digital PWM Pin 8
2	INB	Digital PWM Pin 9
3	ENA	Digital PWM Pin 10

Tabel 3 Wiring Arduino Uno dengan Rotary Encoder (Sumber: Data Primer, 2018)

No	Rotary Encoder	Arduino Uno
1	Encoder L	Digital PWM Pin 2
2	Encoder R	Digital PWM Pin 3

Sistem memiliki dua derajat kebebasan dan sendi yang dipasang untuk bergerak poros sesuai dengan arah memutar motor. θ adalah sudut memutar dan α adalah sudut osilasi dari efektor akhir (Ismail dkk, 2012).

Tabel 4 Parameter Pada Single Link Fleksible Joint Manipulator (Sumber: Akyuz, Ismail Hakki, dkk, 2012)

Simbol	Description	Nilai
J_{link}	Inersia Manipulator Fleksibel	0.003882 kgm ²
R_m	Resistensi Motor	15,5 Ω
K_g	Gear Ratio Dari Reduktor	1/36
K_m	Motor Konstan	0,0089 N / (rad / sn)
K_s	Koefisien Fleksibilitas Sendi	5,468 N / m
M	Massa Dari Sendi Fleksibel	0,03235 kg
G	Percepatan Gravitasi	-9,81 N / m
H	Jarak Ke Pusat Gravitasi Platform Rotasi Manipulator Fleksibel	0,06 m
J_h	Inersia Platform Rotasi	0,00035 kgm ²

Sistem ini dapat dinyatakan dengan metode *Lagrange* berbasis energi. Persamaan *Lagrange* dihitung dari energi kinetik dan potensial (Ismail dkk, 2012).

$$L = K - P \quad (1)$$

Keterangan:

- L = Persamaan Lagrange (joule)
- K = Energi Kinetik (joule)
- P = Energi Potensial (joule)

Dimana K dan P adalah energi kinetik dan potensial dari sistem, masing-masing. Sehingga *persamaan Euler Lagrange* persamaan gerak diberikan sebagai berikut (Ismail dkk, 2012).

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau$$

Keterangan:

- α = Sudut Defleksi Effektor Akhir (°)
- θ = Sudut Putar Sendi Fleksibel (°)
- τ = Torsi Motor (Kg/m)

Sistem ini dapat dinyatakan sebagai berikut untuk gerakan dasar,

$$J_l \ddot{\theta} + J_l \ddot{\alpha} + K_x \alpha - mgh \sin(\theta + \alpha) = 0 \quad (3)$$

$$(J_k + J_l) \ddot{\theta} + J_l \ddot{\alpha} - mgh \sin(\theta + \alpha) = \tau$$

Keterangan:

- m = Masa Sendi Flexible (Kg)
- g = Percepatan Gravitasi (N/m)
- h = Jarak Pusat Gravitasi (m)

Dimana τ adalah torsi motor. Seperti diketahui, torsi diperoleh dengan tegangan yang diterapkan pada angker dinamo atau generator. Dalam studi ini, tegangan V ditentukan sebagai masukan sistem. Juga hubungan antara torsi dan tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut (Ismail dkk, 2012).

$$V = iR_m + K_m K_g \omega \quad (4)$$

$$i = \frac{v}{R_m} - \frac{K_m K_g}{R_m} \omega$$

Keterangan:

- V = Tegangan (volt)
- I = Angker Dinamo (Ampere)
- R_m = Resistensi Motor Ω
- K_m = Motor Konstan (N/(ad/sn))

Dimana ω adalah kecepatan sudut motor, i adalah angker dinamo atau generator saat ini, R_m resistensi bermotor, K_m dan K_g adalah parameter motor. Selanjutnya,

$$i = \frac{\tau}{K_g K_m} \quad (5)$$

$$\theta = \omega$$

Keterangan:

- K_g = Gear Ratio Reduktor (1/36)
- ω = Kecepatan Sudut Motor (rad/s)

Dengan demikian hubungan antara torsi dan tegangan dapat ditulis kembali sebagai,

$$\tau = \frac{K_m K_g}{R_m} v - \frac{K_m^2 K_g^2}{R_m} \dot{\theta} \quad (6)$$

Dalam penelitian ini, variabel ditentukan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}\theta &= x_1 \\ \alpha &= x_2 \\ \dot{\theta} &= x_3 \\ \dot{\alpha} &= x_4\end{aligned}\quad (7)$$

Akibatnya, sistem dapat dinyatakan dalam persamaan berikut,

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_3 \\ \dot{x}_2 &= x_4 \\ \dot{x}_3 &= \frac{K_x}{J_h} x_2 - \frac{K_m^2 K^2 g}{R_m J_h} x_3 + \frac{K_m K_g}{R_m J_h} v \\ \dot{x}_4 &= -\frac{K_x}{J_h} x_2 + \frac{K_m^2 K^2 g}{R_m J_h} x_3 - \frac{K_m K_g}{R_m J_h} v - \frac{K_x}{J_l} x_2 + \frac{mgh}{J_l}\end{aligned}\quad (8)$$

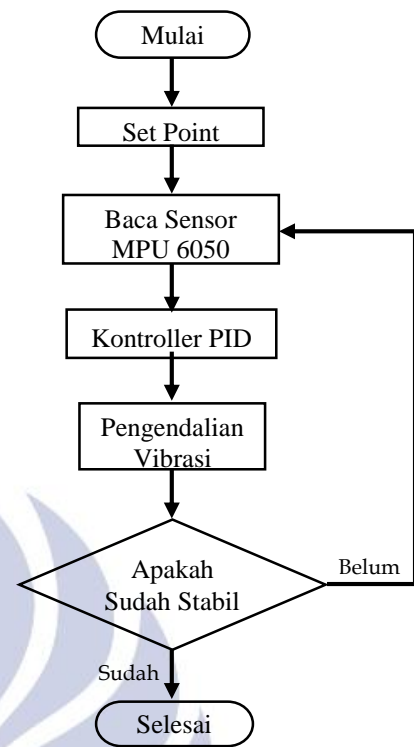
Dimana sistem input adalah $u = V$, output adalah sudut putar sendi fleksibel (θ) dan sudut defleksi efektor akhir (α). Seperti ditunjukkan, sistem memiliki dua output $y = x_1 + x_2$ ($x_1 = \theta$ dan $x_2 = \alpha$). Dalam hal ini, *state* model ruang sistem dapat diberikan sebagai berikut (Ismail dkk, 2012).

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x) + g(x)u \\ y &= x_1 + x_2\end{aligned}\quad (9)$$

$$f(x) = \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \\ \frac{K_s}{J_h} x_2 - \frac{K_m^2 K^2 g}{R_m J_h} x_3 \\ -\frac{K_s}{J_h} x_2 - \frac{K_s}{J_l} x_2 + \frac{K_m^2 K^2 g}{R_m J_h} x_3 + \frac{mgh}{J_l} \sin(x_1 + x_2) \end{pmatrix}$$

$$g(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_m K_g}{R_m J_h} \\ -\frac{K_m K_g}{R_m J_h} \end{pmatrix}$$

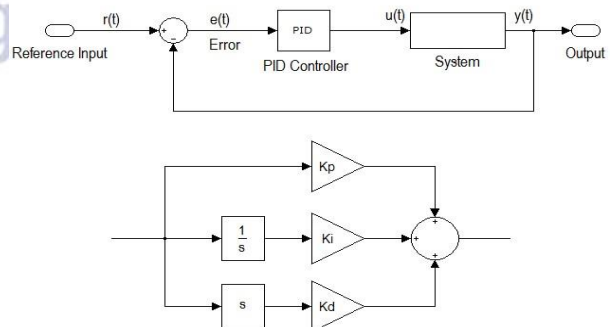
Rancang bangun *software* yang dimaksud adalah sebuah program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler *arduino*. Pemrograman dibuat menggunakan bahasa pemrograman C++ sehingga fungsi-fungsi C++ serta C dapat berjalan di *arduino*. Pemilihan bahasa *arduino* ini dipilih karena lebih mudah dalam penggunaannya dan *library*nya cukup memadai, diagram alir *software* dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alir Software
(Sumber : Data Primer, 2018)

PID (*Proporsional - Integral - Derivatif*) kontrol adalah salah satu metode kontrol klasik yang sering digunakan saat ini terutama pada industri karena struktur sederhana dan bekerja stabil. PID skema blok kontrol ditunjukkan Gambar berikut.

Menurut *Teorema Stabilitas Lyapunov* suatu kondisi yang cukup, sehingga *teorema* dan kriteria yang terlalu konservatif untuk digunakan. Desain parameter kontroler *Nonlinier PID* biasanya disebut *Controller Linier PID* dalam prakteknya. Pengalaman teknik menunjukkan bahwa jika ada linier PID kontroler tersedia, maka *Gain* Kontroler PID harus hampir sama dengan *Gain* kontroler linier PID.



Gambar 5 Blok Diagram Kontrol PID
(Sumber: Ogata, Katsuhiko. 2010)



Metoda Ziegler-Nichols merupakan metoda tuning PID controller untuk menentukan nilai *proportional gain* K_p , *integral time* T_i , dan *derivative time* T_d berdasarkan karakteristik respon *transient* dari sebuah *plant* atau sistem. Metoda ini akan memberikan nilai overshoot sebesar 25% pada *step response*. Pada penelitian ini menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe 2 yaitu percobaan dilakukan dengan menggunakan *proportional band* saja. Nilai K_p dinaikkan dari 0 hingga tercapai nilai K_p yang menghasilkan osilasi yang konsisten. Nilai *controller gain* ini disebut sebagai *critical gain* (K_{cr}). Untuk menentukan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus di bawah :

$$\begin{aligned} G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\ &= 0,6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0,5 P_{cr} s} + 0,125 P_{cr} s \right) \\ &= 0,075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \end{aligned} \quad (10)$$

Keterangan:

K_p = Konstanta *Proportional*

T_i = Konstanta *Integral*

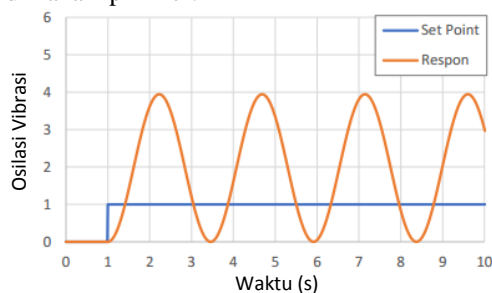
T_d = Konstanta *Derivatif*

Tabel 5 Penentuan Parameter PID
(Sumber: Ogata, Katsuhiko. 2010)

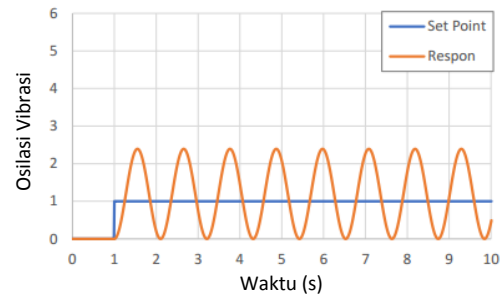
Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
Pi	$0,4 K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

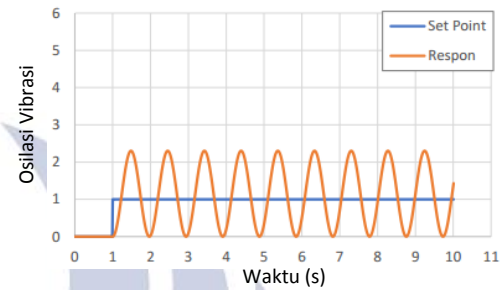
Pengujian respon sistem dilakukan dengan simulasi *plant* pada software *Matlab 2014a* untuk melihat respon sistem hasil simulasi, sehingga dapat menentukan nilai K_{cr} dan P_{cr} untuk mencari nilai kontrol PID (*proportional-integral-Derivatif*) yang nantinya akan diterapkan pada *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot* untuk menstabilkan vibrasi atau getaran lengan robot terhadap fleksibilitas yang terjadi. Pengujian respon sistem dengan memasukkan nilai K_p sebesar 90, 180, dan 270 dimana $K_p = K_{cr}$.



Gambar 6 Hasil respon sistem dengan nilai $K_{cr} = 90$
(Sumber: Data Primer. 2018)



Gambar 7 Hasil respon sistem dengan nilai $K_{cr} = 180$
(Sumber: Data Primer 2018)



Gambar 8 Hasil respon sistem dengan nilai $K_{cr} = 270$
(Sumber: Dokumen Pribadi. 2018)

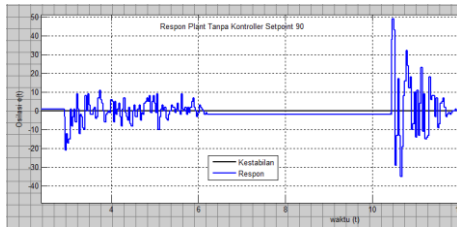
Dari data yang telah didapatkan dari hasil simulasi maka dapat dianalisis respon sistem dari *single link flexible joint manipulator robot* yang menunjukkan respon osilasi. Berikut adalah tabel perbandingan respon sistem robot saat menunjukkan respon osilasi :

Tabel 6 Analisis Respon Sistem Hasil Simulasi
(Sumber: Dokumen Pribadi. 2018)

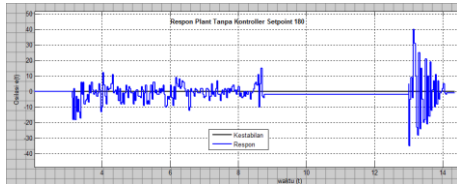
No	K_{cr} (Pengu at Kritis)	P_{cr} (Waktu Kritis)	M_p (Maximum Peak)	T_r (Rise Time)	T_p (Time Peak)
1.	90	2,47	2,94284	0,42	1,23
2.	180	1,11	1,393002	0,25	0,55
3.	270	0,97	1,302191	0,23	0,48

Nilai K_{cr} yang paling sesuai adalah ketika respon sistem memiliki nilai *Maximum peak* (M_p) yang paling kecil dan *rise time* (t_r) dan *peak time* (t_p) yang paling cepat. Dari beberapa variasi *tuning* nilai K_{cr} maka dapat disimpulkan bahwa nilai K_{cr} yang paling sesuai adalah 270. Karena pada saat nilai $K_{cr} = 270$, respon sistem memiliki nilai *Maximum peak* (M_p) yang paling kecil, kemudian waktu naik ketika $t=0$ sampai ke *steady state* (*rise time*) dan waktu ketika $t=0$ hingga mencapai puncak pertama *overshoot* memiliki waktu yang paling kecil.

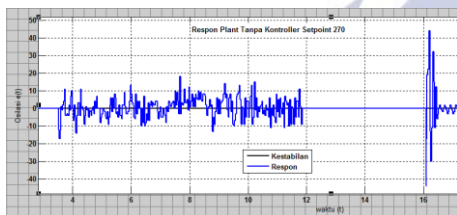
Pengujian respon *plant* tanpa controller dilakukan 3 kali dengan setpoint yang berbeda. *setpoint* yang pertama diberikan adalah 90 derajat, setpoint yang kedua sebesar 180 derajat, dan setpoint yang ketiga sebesar 270 derajat. Hasil pengujian respon *plant* ditunjukkan pada Gambar 9, 10, dan 11.



Gambar 9 Respon Plant Tanpa Kontroler Setpoint 90
(Sumber: Data Primer, 2018)



Gambar 10 Respon Plant Tanpa Kontroler Setpoint 180
(Sumber: Data Primer, 2018)



Gambar 11 Respon Plant Tanpa Kontroler Setpoint 270
(Sumber: Data Primer, 2018)

Setelah didapatkan nilai K_{cr} maka langkah selanjutnya adalah mencari fungsi alih dengan rumus *Ziegler-Nichols type 2*. Berdasarkan nilai K_{cr} dan P_{cr} di atas dengan menggunakan persamaan 10 ditemukan fungsi alih plant sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \\
 &= 0,6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0,5 P_{cr}^2} + 0,125 P_{cr} s \right) \\
 &= 0,075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \\
 &= 0,075 \times 270 \times 0,97 \frac{\left(s + \frac{4}{0,97} \right)^2}{s} \\
 &= 19,6425 \frac{(s+4,124)^2}{s} \\
 &= 19,6425 \frac{(s^2 + 8,248 s + 17,01)}{s} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan fungsi alih *plant* berdasarkan metode *Ziegler-Nichols Type 2*, selanjutnya adalah menentukan nilai parameter PID yaitu nilai K_p, T_i, T_d, K_i , dan K_d sebelum diaplikasikan pada *plant*. Fungsi alih *plant* pada persamaan 11 maka dapat ditemukan penentuan nilai nilai parameter PID berdasarkan metode *Ziegler-Nichols Type 2* yang sudah dijelaskan pada Tabel 5 adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } K_{cr} &= 270 \\
 \text{Nilai } P_{cr} &= 0,97
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Kontroler P (Proportional)} \\
 K_p &= 0,5 \times K_{cr} = 0,5 \times 270 = 135 \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Kontroler Pi (Proportional Integral)} \\
 K_p &= 0,45 \times K_{cr} = 0,45 \times 270 = 121,5 \quad (13) \\
 T_i &= \frac{1}{1,2} \times P_{cr} = 0,8333 \times 0,97 = 0,81 \quad (14)
 \end{aligned}$$

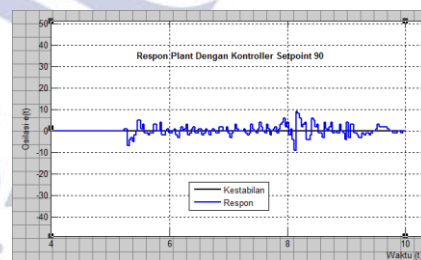
$$\begin{aligned}
 \text{➤ Kontroler PID (Proportional Intergral Derivatif)} \\
 K_p &= 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 270 = 162 \quad (15) \\
 T_i &= 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 0,97 = 0,485 \quad (16) \\
 T_d &= 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 0,97 = 0,12 \quad (17) \\
 K_i &= \frac{K_p}{T_i} = \frac{162}{0,485} = 334 \quad (18) \\
 K_d &= K_p \times T_d = 162 \times 0,12 = 19,44 \quad (19)
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dengan menggunakan metode *Ziegler Nichols tipe 2*, maka dapat ditemukan parameter parameter yang dipakai untuk diaplikasikan kedalam *plant system* adalah sebagai berikut pada Tabel 7.

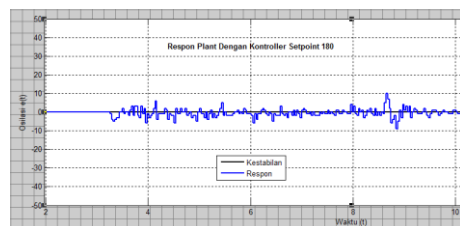
Tabel 7 Parameter PID
(Sumber: Data Primer, 2018)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	135	∞	0
Pi	121,5	0,81	0
PID	162	334	19,44

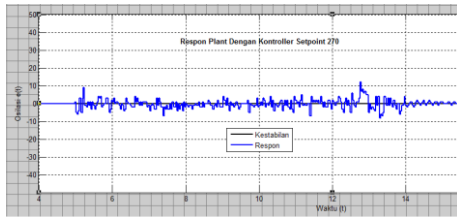
Setelah menghitung nilai parameter PID didapatkan nilai $K_p = 162, K_i = 334$, dan $K_d = 19,44$. Nilai K_p, K_i dan K_d kemudian dimasukkan kedalam program *arduino* untuk diimplementasikan pada *plant system* dengan 3 *setpoint* yang berbeda yaitu 90 derajat, 180 derajat, dan 270 derajat. Hasil implementasi kendali PID menghasilkan respon pengurangan vibrasi pada ujung lengan robot sehingga lebih stabil seperti pada gambar 12, 13, dan 14.



Gambar 12 Respon Plant dengan Kontroler Setpoint 90
(Sumber: Data Primer, 2018)

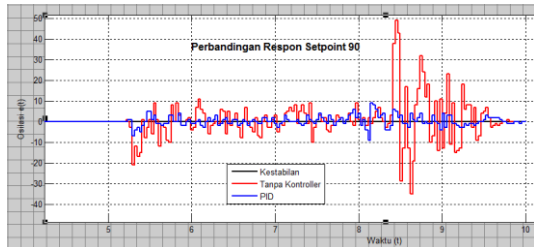


Gambar 13 Respon Plant dengan Kontroler Setpoint 180
(Sumber: Data Primer, 2018)



Gambar 14 Respon Plant dengan Kontroler Setpoint 270
(Sumber: Data Primer, 2018)

Hasil perbandingan respon menggunakan kontroler PID dengan tanpa kontroler PID dijelaskan pada Gambar 15, 16, dan 17.



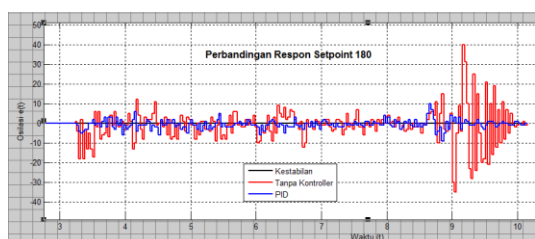
Gambar 15 Perbandingan Respon Plant dengan Kontroler dan Tanpa Kontroler Setpoint 90
(Sumber: Data Primer, 2018)

Analisis Respon Plant Menggunakan Kontroler

Berdasarkan perbandingan respon *plant* diatas pada Gambar 15 dengan dan tanpa menggunakan kontroler PID setpoint 90 derajat dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan kontroler menyebabkan vibrasi yang tinggi pada ujung lengan robot sedangkan menggunakan kontroler osilasi atau vibrasi yang terjadi lebih kecil, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Analisis Perbandingan Tanpa dan Dengan Kontroler Setpoint 90
(Sumber: Data Primer, 2018)

Setpoint 90 derajat	Tanpa Kontroler PID	Dengan Kontroler PID
Waktu Tunda (t_d)	1,11 s	0,43 s
Waktu Naik (t_r)	5% – 95% 10% - 90%	4,7 s 1,37 s
Waktu Tunak (t_s)	5% 2% 0,5%	4,8 s 6,4 s 8 s
Nilai Vibrasi	Arah Kanan Arah Kiri	49 m/s^2 35 m/s^2
		9 m/s^2 9 m/s^2



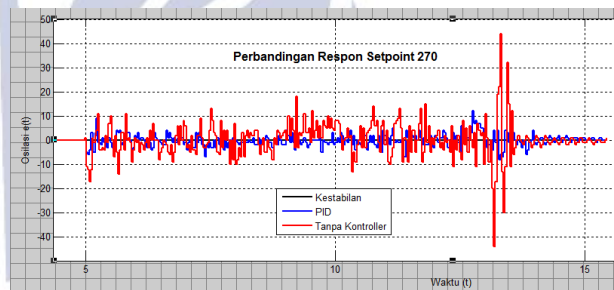
Gambar 16 Perbandingan Respon Plant dengan Kontroler dan Tanpa Kontroler Setpoint 180
(Sumber: Data Primer, 2018)

Analisis Respon Plant Menggunakan Kontroler

Berdasarkan perbandingan respon *plant* diatas pada Gambar 16 dengan dan tanpa menggunakan kontroler PID setpoint 180 derajat dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan kontroler menyebabkan osilasi atau vibrasi yang tinggi pada ujung lengan robot sedangkan menggunakan kontroler osilasi atau vibrasi yang terjadi lebih kecil, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Analisis Perbandingan Tanpa dan Dengan Kontroler Setpoint 180
(Sumber: Data Primer, 2018)

Setpoint 180 derajat	Tanpa Kontroler PID	Dengan Kontroler PID
Waktu Tunda (t_d)	1,12 s	0,426 s
Waktu Naik (t_r)	5% – 95% 10% - 90%	4,75 s 1,35 s
Waktu Tunak (t_s)	5% 2% 0,5%	4,842 s 6,456 s 3,07 s
Nilai Vibrasi	Arah Kanan Arah Kiri	40 m/s^2 35 m/s^2
		10 m/s^2 9 m/s^2



Gambar 17 Perbandingan Respon Plant dengan Kontroler dan Tanpa Kontroler Setpoint 270
(Sumber: Data Primer, 2018)

Analisis Respon Plant Menggunakan Kontroler

Berdasarkan perbandingan respon *plant* diatas pada Gambar 17 dengan dan tanpa menggunakan kontroler PID setpoint 270 derajat dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan kontroler menyebabkan osilasi atau vibrasi yang tinggi pada ujung lengan robot sedangkan menggunakan kontroler osilasi atau vibrasi yang terjadi lebih kecil, dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Analisis Perbandingan Tanpa dan Dengan Kontroler Setpoint 270
(Sumber: Data Primer, 2018)

Setpoint 270 derajat	Tanpa Kontroler PID	Dengan Kontroler PID
Waktu Tunda (t_d)	1,18 s	0,39 s
Waktu Naik (t_r)	5% – 95% 10% - 90%	5 s 1,25 s
Waktu Tunak (t_s)	5% 2% 0,5%	5,1 s 6,8 s 3,85 s
Nilai Vibrasi	Arah Kanan Arah Kiri	44 m/s^2 44 m/s^2
		12 m/s^2 8 m/s^2

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan data hasil respon yang telah diperoleh dan setelah dilakukan analisis, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

Menggunakan metode *Ziegler Nichols* tipe 2 untuk mencari parameter PID, sehingga didapat nilai PID pada *plant* dengan nilai $K_p = 162$, $K_i = 334$, dan $K_d = 19,44$. Sistem lebih baik menggunakan controller PID dari pada tidak menggunakan controller PID, karena dengan menggunakan controller PID vibrasi yang disebabkan oleh lengan robot lebih kecil dari pada tidak menggunakan controller PID.

Berdasarkan Tabel 8, 9, dan 10 hasil nilai vibrasi pada respon sistem *plant* dengan *setpoint* 90 derajat tanpa controller PID sebesar 49 m/s^2 ke kanan dan 35 m/s^2 ke kiri, sedangkan dengan menggunakan controller PID sebesar 9 m/s^2 ke kanan dan 9 m/s^2 ke kiri. *Setpoint* 180 derajat tanpa controller PID sebesar 40 m/s^2 ke kanan dan 35 m/s^2 ke kiri, sedangkan dengan menggunakan controller PID sebesar 10 m/s^2 ke kanan dan 9 m/s^2 ke kiri. *Setpoint* 270 derajat tanpa controller PID sebesar 44 m/s^2 ke kanan dan 44 m/s^2 ke kiri sedangkan dengan menggunakan controller PID sebesar 12 m/s^2 ke kanan dan 8 m/s^2 ke kiri.

Saran

Menggunakan metode identifikasi dan metode kontrol lain yang lebih mendekati *plant* seperti *Fuzzy Logic Control* dan *adaptif*. Pada lengan robot menggunakan bahan yang lebih lentur agar fleksibilitas yang terjadi pada ujung robot lebih tampak jelas.

DAFTAR PUSTAKA

Arikunto. 2006 : 12. *Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif*.

Belajar Komputer. 2014. *Pengertian Power Supply dan Fungsinya*, (online), (<http://www.tuntor.com/pengertian-power-supply-dan-fungsinya/>), diakses pada tanggal 31 Maret 2018).

Djuandi, Feri. 2011. *Pengenalan Arduino*.

Fauziansyah, Fauzan. 2015. *Desain Pengendali PID dengan Metoda Ziegler-Nichols dan Cohen Coon Menggunakan Matlab dan Arduino pada Plant Level Air*, (online), (<https://www.slideshare.net/stydi band/desain-kendali-PID-dengan-metoda-ziegler-nichols-dan-cohencoon-menggunakan-matlab-dan-arduino-pada-plant-level-air-50287680>), diakses pada tanggal 8 Juni 2018).

Gaguk. 2012. *Driver H-Bridge Motor DC*, (online), (<http://wongsablenglab.blogspot.co.id/2012/02/driver-h-bridge-motor-dc.html>), diakses pada tanggal 12 Maret 2018).

Ismail H. AKYUZ, Bingul, Zafer, dan Kizir, Selcuk. 2011. *Cascade fuzzy logic control of a single link flexible*

joint manipulator. Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, Umuttepe 41380, Kocaeli - TURKE. Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.20, No.5, 2012.

Ismail H. AKYUZ, Yolacan, Ersin, Ertunc, H. Metin, dan Bingul, Zafer. 2010. *PID and State Feedback Control of a Single-Link Flexible Joint Robot Manipulator*. Department of Mechatronics Engineering Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY.

Kurniasih, Nurafni Retno. 2015. *Metodologi Penelitian Pendidikan*.

Kurniawan, M. Yusuf. 2012. *Kontrol Posisi Pada Lengan Robot Pemindah Barang Berbasis Mikrokontroler Atmega 16*. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

MyBlog. 2011. *Metoda Tuning Ziegler-Nichols*, (online), (<https://instrumentationsystem.blogspot.co.id/2011/05/metoda-tuning-ziegler-nichols.html>), diakses pada tanggal 28 Maret 2018).

Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering. Fifth Edition*.

Purnomo, Eko. 2015. *Perbedaan Potensiometer Linear dan Logaritmis*, (online), (<http://www.nulis-ilmu.com/2015/05/perbedaan-potensiometer-linear-dan.html>), diakses pada tanggal 29 Maret 2018).

Putra, Adityan Ilmawan. 2013. *Sistem Pengaturan Posisi Sudut Putar Motor Dc Pada Model Rotary Parking Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino Mega 2560*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.

Rafiuddin, Syam. (2015). *Seri Buku Ajar Robotika: Kinematika dan Dinamika Robot Lengan*. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Rynaldo, Bagus Rio. 2018. *Pengembangan Two Wheels Self Balancing Robot dengan PI Controller Berbasis Labview 2014*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

S1 Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa 2014 dan 2015. 2017. *Single Link Flekxible Manipulator*. S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. laporan akhir mata kuliah sistem kontrol optimal.

Wong, Michael. 2012. *Pengenalan Matlab Pada Sistem Kontrol*, (online), (<https://wongmichael.wordpress.com/2012/10/21/178/>), diakses pada tanggal 31 Maret 2018).